Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 35, No. 1, Spring 2021, p. 1-13

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۱۳-۱

مقاله پژوهشی

شبیه‌سازی واکنش کشاورزان به سیاست‌های مبتنی بر کشاورزی پایدار (مطالعه موردی: زیربخش زراعی حوضه آبریز تجن)

نازی حیدری ظهیری[۱]- حمید امیرنژاد[۲*]- سمیه شیرزادی لسکوکلایه[۳]

تاریخ دریافت: ۲۸/ ۱۳۹۸/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۹

چکیده

بروز کم‌آبی و مصرف بی‌رویه نهاده‌های شیمیایی یکی از چالش‌های عمده‌ی موجود در بخش کشاورزی محسوب می‌شود. در مطالعه حاضر، با استفاده از الگوی برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی و رهیافت حداکثر آنتروپی در محیط نرم‌افزار GAMS، سیاست‌های کاهش نهاده کود شیمیایی و آب بر واکنش کشاورزان حوضه‌ی آبریز تجن در زمینه‌ی انتخاب الگوی کشت مناسب برای سال ۱۳۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد که اگرچه در سناریوهای کاهش ۵، ۱۰ و ۱۵ درصدی مصرف آب و کود شیمیایی، سطح زیرکشت محصولات زراعی منطقه نسبت به سال پایه کاهش یافته، اما با مصرف کمتر نهاده کود و آب در سطح مزارع همراه است. محصول برنج و گندم به‌دلیل صرفه اقتصادی بالاتر حاصل از هر هکتار، در شرایط کم‌آبی و کمبود نهاده کود با افت کمتر سطح زیرکشت همراه است. نتایج حاصل از بهبود شاخص‌های پایداری نشان داد که الگوی کشت در سناریوهای کاهش کود در مقایسه با سناریوهای کاهش آب، تطبیق بیشتری با الگوی کشاورزی پایدار دارد. چنانچه در سناریوی کاهش ۱۵ درصدی کود، کاهش ناچیز ۰/۰۴۱ درصدی منافع اقتصادی با بهبود شاخص مصرف کود شیمیایی (۱/۳۴۸ درصدی) و شاخص مصرف آب (۰/۳۱۹ درصدی) همراه است. از سوی دیگر، بهبود شاخص‌های مصرف نهاده آب و کود شیمیایی، اولویت بیشتری نسبت به کاهش مطلوبیت انتظاری مشاهده شده در منطقه دارد که بر این اساس می‌توان مطلوب‌بودن تغییرات از نظر محیط‌زیست را تا اندازه‌ای تأیید نمود.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی، حوضه‌ی آبریز تجن، شاخص پایداری، مطلوبیت انتظاری

مقدمه

در ایران هر سال به دلیل مصرف بیش از اندازه کودها و سموم شیمیایی در تولید محصولات کشاورزی و استفاده از آب‌های آلوده، هزینه‌های اجتماعی-بهداشتی برای مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی و دولت، در حال افزایش است که بیانگر عدم نظارت بر فعالیت‌های کشاورزی است که وضعیت فعلی کشاورزی نتوانسته در بحث حفظ محیط‌زیست و تحقق توسعه پایدار آن‌چنان‌که باید موفق عمل کند (۲۹). بنابراین، یکی از فاکتورهای مهم و مورد توجه سیاست‌گزاران در بحث توسعه پایدار، کشاورزی پایدار است که در جهت منافع انسان کارآیی بیشتری در استفاده از منابع دارد و با محیط در توازن است (۲۵) و به‌دنبال دستیابی به سه هدف کلی اقتصاد کشاورزی سالم، حفظ محیط‌زیست و جامعه روستایی است (۳۴). سلامت محیط‌زیست بر سلامت غذا تأثیرگذار است و ارزیابی خطرات محیط‌زیست به‌عنوان بخشی از سلامت غذا در نظر گرفته می‌شود (۲۳). بنابراین، کاهش اثرات منفی محیط تولید مواد غذایی بر محیط‌زیست ضروری است که شامل کمبود آب به علت استخراج بیش‌ازحد آن، آلوده‌شدن محیط‌زیست و مخصوصاً خاک و آب‌های سطحی و زیرزمینی، تخریب خاک و از دست‌دادن تنوع زیستی از طریق تبدیل زمین یا مدیریت نامناسب (۱۲ و ۱۵) تجمع مواد آلاینده نظیر نیترات در اندام‌های مصرفی محصولات زراعی و در نتیجه به خطر افتادن سلامت انسان می‌باشد (۲۰). تغییرات منابع آبی ناشی از تغییرات بارش و درجه حرارت، افزایش تقاضای آب و رشد جمعیت است که می‌تواند بر عملکرد کشاورزی، مناسب‌بودن اراضی و توزیع آفات کشاورزی تأثیرگذار باشد. همچنین، موجب تغییرات در درآمد به همراه پیامدهای آن بر ابعاد اجتماعی و اقتصادی کشاورزان می‌شود (۱۱ و ۳۵). علاوه بر مسئله کم‌آبی، مدیریت نامناسب منابع آبی، مصرف بیش از اندازه نهاده‌های شیمیایی و نبود الگوی کشت مناسب

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکترای اقتصاد کشاورزی، دانشیار و استادیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: (Email: h.amirnejad@sanru.ac.ir
DOI: 10.22067/jead.2021.17774.0

نیز گریبان‌گیر کشاورزی می‌باشد. عدم توجه عملی به این موارد ضربات جبران‌ناپذیری را بر بخش کشاورزی وارد می‌کند و شاید یکی از دلایل عدم رشد مناسب این بخش در همه ابعاد، به این مسئله برمی‌گردد (۲۵). بنابراین، با توجه به کشاورزی پایدار، حفظ منابع آبی و جلوگیری از مصرف نامناسب کودهای شیمیایی جهت کاهش آلودگی محیطزیست دو چندان ضرورت می‌یابد. در موارد زیادی در استفاده از مقیاس حوضه رودخانه به‌عنوان مقیاس مکانی مناسب برای تجزیه و تحلیل مدیریت منابع آب اتفاق‌نظر وجود دارد (۸ و ۱۰). در ایران نیز این تمرکز در بسیاری از مناطق بایستی صورت گیرد. حوضه‌ی آبریز تجن با وسعت تقریبی ۴۱۸۷ کیلومتر مربع که ۳۹۸۰ کیلومتر مربع آن در استان مازندران واقع شده، از بخش‌های مهم حوضه‌ی آبریز دریای خزر و دارای جهت تقریباً جنوبی-شمالی است. (۹). این منطقه یک واحد هیدرولوژیکی نسبتاً بزرگ است که آب و خاک این منطقه یکی از مهم‌ترین پایگاه‌های رشد اقتصادی و کشاورزی استان مازندران محسوب می‌شود (۳۲). منابع آب سطحی شامل رودخانه‌ی تجن و سرشاخه‌های آن می‌باشد که آب آن برای آبیاری اراضی منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۱). وضعیت کنونی منابع آب حوضه‌ی تجن با توجه به تغییرات ناشی از شرایط آب و هوایی- کاهش حجم روان‌آب‌های رودخانه و وضعیت کم‌آبی (کاهش حجم ۷۵ درصدی روان‌آب‌های رودخانه‌ی تجن نسبت به دوره شاخص ۵۰ ساله)- و اینکه مهم‌ترین روش آبیاری زمین‌های کشاورزی حوضه‌ی تجن، به‌ویژه اراضی شالیزاری از طریق سردهنه های رودخانه‌هاست (۱۷)، لزوم توجه به مدیریت منابع آب حوضه را دوچندان ساخته است. این چالش‌ها، توجه به مسئله توسعه پایدار و شناخت سیاست‌های بهره‌برداری از منابع آب را بیش از پیش مطرح می‌سازد. سطح زیرکشت اراضی آبی در حوضه‌ی تجن بیش از ۵۰ هزار هکتار گزارش شده است که کشت‌های آبی اساسی و غالب در بخش زراعی منطقه ۶۳ درصد می‌باشد که شامل ۵۵ درصد برنج، ۴ درصد ذرت، ۳/۴ درصد گندم و ۱/۱۴ درصد کلزا می‌باشد (۳۰).

طی سال‌های اخیر، الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی کاربرد فراوانی در زمینه تجزیه و تحلیل سیاست‌ها در بخش کشاورزی و شبیه‌سازی اثرات آن بر بخش‌های مختلف کشاورزی از جمله تغییرات احتمالی در مقدار مصرف نهاده‌ها، الگوی کشت، درآمد و رفاه داشته‌اند. از جمله پونس و همکاران (۲۷) با کمک الگوی عرضه غیرخطی شبیه‌سازی شده با رویکرد PMP نشان دادند که کشاورزان شیلی در شرایط کاهش آب در دسترس با تولید محصولات دیم مانند گندم، جو و سیب‌زمینی، به‌طور متوسط درآمد خالص خود را ۸۸ درصد افزایش می‌دهند. نتایج مطالعه فرنانذز و همکاران (۱۰) در حوضه رودخانه ورگارا شیلی نشان داد که کاهش آب قابل‌دسترس موجب کاهش ۲ درصدی در تخصیص زمین‌های آبی و کاهش ۲۲/۴ درصدی زمین‌های اختصاص یافته به گندم آبی می‌شود. همچنین، گوهر و کاشمن (۱۳) به کمک رویکرد PMP اثر مفروضات مختلف آب و هوایی بر میزان دسترسی به آب، تخصیص مجدد زمین، امنیت غذایی و سود فعالیت‌های کشاورزی در باربادوس[1] را بررسی نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که کاهش ۵۰ درصدی میانگین بارش بلندمدت و تغییر ۳۰ درصدی سالانه بارش، اثرات منفی قابل‌توجهی بر امنیت غذایی و منابع آبی آینده دارد. در مطالعات داخلی نیز، حسنوند و همکاران (۱۶) با روش برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی نشان دادند که با کاهش ۵۰ درصدی مقدار آب، سطح زیرکشت محصولات آبی کاهش می‌یابد و نهاده آب ۵۶/۵۳ درصد صرفه‌جویی می‌شود اما سطح زیرکشت محصولات دیم به‌دلیل قیمت بازاری کمتر و بازده پایین‌تر تغییری نمی‌کند. آق و همکاران (۲) نیز با استفاده از رهیافت PMP، نشان دادند که سیاست کاهش کود، منجر به کاهش سطح زیرکشت تمام محصولات زراعی می‌شود. درحالی‌که سیاست کاهش مقدار آب موجب کاهش سطح زیرکشت محصولات آبی و عدم تغییر سطح محصولات دیم می‌شود. شیخ زین‌الدین و همکاران (۳۳) با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی در اراضی کشاورزی درودزن نشان دادند که با حرکت از الگوی اقتصادی به اقتصادی-محیطزیستی، کاهش ۰/۳۱ درصدی منافع اقتصادی منجر به بهبود ۶/۵۸ درصدی تلفات نیتروژن می‌شود. بنی‌اسدی و همکاران (۷) با استفاده از سیاست کم‌آبیاری و ترکیب آن با سیاست کاهش دسترسی به منابع آب نشان دادند که به‌رغم کاهش ۶۲ درصدی مصرف آب، سطح زیرکشت ۶۲ درصد افزایش و بازده ناخالص ۴۲ درصد کاهش می‌یابد. نتایج مطالعه عبدی و همکاران (۱) در منطقه گهرباران ساری در چارچوب PMP بیانگر افزایش ۳ درصدی سود در حالت مصرف بهینه با وجود ثابت‌بودن سطح زیرکشت کل است. اسعدی و همکاران (۶) به دنبال تعیین الگوی کشت بهینه محصولات زراعی شبکه آبیاری دشت قزوین از رهیافت PMP و حداکثر بی‌نظمی نشان دادند که شاخص‌های پایداری منابع آب، کود و سموم شیمیایی در اثر اعمال سیاست‌های کم آبیاری و کاهش کود و سموم شیمیایی، بیانگر مصرف زیاد آب، کود و سموم شیمیایی است که همگام با کشاورزی پایدار نیست. جمالی‌مقدم و همکاران (۲۱) در مطالعه خود در دشت کمین استان فارس با کمک الگو PMP نشان دادند که کاهش ۳۰، ۵۰ و ۸۰ درصدی آب زیرزمینی تأثیر کمتری در مزارع پایدار نسبت به مزارع ناپایدار و نیمه-پایدار دارد. زمانی و همکاران (۳۶) نیز به کمک الگوی PMP در حوضه رودخانه زاینده‌رود نشان دادند که برنامه مدیریتی با هدف محدودیت در عرضه آب آبیاری فقط برای ماهی که بیشترین تقاضای آب وجود دارد، اثرات منفی کمتری نسبت به محدودیت عرضه سالانه آب به همان مقدار خواهد داشت. آقاپور و همکاران (۳) نیز اثرات اقتصادی تغییرات آب‌وهوا در بخش آب و کشاورزی حوزه زاینده‌رود را

1- Barbados

بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با انتخاب الگوی کشت بهینه و استراتژی کم‌آبیاری مطلوب برای هر محصول، فرصت‌های خوبی برای کشاورزان فراهم می‌شود تا خود را با شرایط کمبود آب و دمای بالا سازگار نمایند.

مرور مطالعات مذکور نشان داد که به علت مزایای الگو PMP، استفاده از این روش در حال گسترش می‌باشد. به‌طوری‌که شرایط لازم و کافی برای واسنجی[1] الگوی PMP، غیرخطی‌بودن برخی متغیرهای تصمیم در تابع هدف است. بر این اساس در اکثر مطالعات اشاره شده، تبیین مدل PMP واسنجی‌شده با کمک تابع هزینه غیرخطی واسنجی‌شده صورت گرفت. اما در مطالعه فرنانذ و همکاران (۱۰) ، تابع هدف غیرخطی به‌صورت مشخصه ماتریس واریانس-کوواریانس[2] غیرخطی در تابع هدف استفاده شد که در آن مسئله معادل قطعیت، شامل سود حقیقی و ماتریس کوواریانس بازسازی‌شده است که مشاهدات سال پایه را بدون لحاظ محدودیت‌های واسنجی بازتولید می‌کند. کمبود و استفاده نامناسب از منابع آب به‌ویژه در بخش کشاورزی، باعث گرایش مطالعات اعم از داخلی و خارجی به سمت استفاده از سیاست‌های مختلف کاهش مصرف آب شده است. در تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه سیاست‌های کاهش آب در دسترس، نتایج بر تغییر روش از آبیاری کامل به روش کم‌آبیاری، تولید محصولات دیم و کاهش زمین‌های آبی (صرف‌نظر از افزایش یا کاهش ناچیز در منافع اقتصادی) تأکید دارند. از طرفی، نتایج مطالعات با رویکرد سیاستی نهاده‌ها بیانگر این واقعیت است که مصرف زیاد آب، کودها و سموم شیمیایی مانع رسیدن به کشاورزی پایدار می‌شود. در مطالعه حاضر، PMP به‌عنوان یک روش واسنجی به‌صورت مشخصه ماتریس واریانس-کوواریانس غیرخطی بیان شده است که تاکنون در بررسی مطالعات انجام‌شده داخلی مشاهده نشد و نوآوری مطالعه حاضر می‌باشد. لذا، تلاش شده است تا با استفاده از رهیافت PMP در طی چند سناریو، پی‌آمدهای احتمالی کاهش نهاده کودشیمیایی و آب بر الگوی کشت و مصرف نهاده‌های کشاورزی مورد بررسی قرار گیرد تا سیاست‌گزاران بخش کشاورزی را در انتخاب رهیافت‌های مناسب به‌منظور افزایش کارایی مصرف نهاده آب و کود و کاهش آلودگی‌های محیطزیستی ناشی از مصرف متعادل نهاده‌های در جهت حرکت به سمت پایداری سیستم کشاورزی یاری رساند.

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر جهت رسیدن به اهداف تعیین‌شده، حداکثرسازی مطلوبیت انتظاری[3] زارعین حوضه‌ی آبریز تجن در چارچوب محدودیت‌های حاکم بر فضای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. PMP که یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای واسنجی الگوهای برنامه‌ریزی ریاضی است (۱۹) به‌عنوان یک روش تحلیل تجربی به‌ویژه در تحلیل‌های منطقه‌ای و بخشی کشورهای در حال توسعه و تحلیل اقتصادی محیطزیستی مفید می‌باشد (۵ و ۱۸). در این مطالعه، بر اساس مطالعه پیتساکوس و روزاکیس (۲۶) از PMP به‌عنوان یک روش واسنجی به‌صورت مشخصه ماتریس واریانس-کوواریانس غیرخطی استفاده شده است. ایده کلی در این مورد، ترکیب نظریه مطلوبیت انتظاری با روش واسنجی پارامتر PMP است (۱۴).

به‌طورکلی، الگو PMP مورد استفاده در این مطالعه در چهار مرحله الگوسازی شد.

مرحله اول: این مرحله شامل حل یک الگوی برنامه‌ریزی غیرخطی جهت حداکثرنمودن مطلوبیت انتظاری با توجه به محدودیت‌های منابع و واسنجی می‌باشد. در این گام، قیمت سایه‌ای محدودیت‌های واسنجی محاسبه می‌شود. بر اساس معیار مطلوبیت انتظاری، تابع هدف الگو به‌صورت رابطه (۱) می‌باشد (۲۶).

$$Max\ EU = w - \frac{1}{2}\frac{x^T V x}{w} \qquad (۱)$$

$$W = W_0 + \bar{g}^T x \qquad (۲)$$

که در آن EU مطلوبیت انتظاری کشاورزان است، W کل ثروت است که به‌صورت رابطه (۲) می‌باشد که در آن W_0 بخش غیرتصادفی یا ثروت "اولیه" است که در مطالعه حاضر میزان درآمد حاصله بدون انجام هیچ‌گونه فعالیت تولیدی توسط زارعین با عنوان ثروت اولیه در نظر گرفته شده است که میزان یارانه دریافتی سالانه زارعین منطقه می‌باشد. $\bar{g}^T x$ جزء تصادفی ثروت کشاورز است که در آن $\bar{g}$ نشان‌دهنده بردار $I×1$ سود نهایی ضمنی هر سطح فعالیت است. x بردار $I×1$ سطح فعالیت‌های مزرعه و V ماتریس کوواریانس $I×I$ سود فعالیت‌ها است (۲۶). در اینجا حداکثرسازی EU تقریباً برابر با حداکثر رساندن معادل قطعیت[4] است، به این معنی که کشاورز می‌تواند بازده تضمین‌شده را حداکثر کند، نسبت به اینکه شانس بیشتر، اما بازدهی نامطمئن داشته باشد (۱۰). علاوه بر محدودیت منابع و محدودیت غیرمنفی‌بودن متغیرها، الگو شامل یک محدودیت واسنجی نیز می‌باشد.

$$Ax \le b \quad [z] \qquad (۳)$$

$$x \le x_0 + \varepsilon \quad [h] \qquad (۴)$$

$$x \ge 0 \qquad (۵)$$

رابطه (۳) نشان‌دهنده محدودیت منابع است که در این مطالعه

1- Calibration
2- Variance-Covariance Matrix
3- Expected Utility
4- Certainty Equivalent

محدودیت آب، زمین و کود شیمیایی در نظر گرفته‌شده است. A ماتریس M×I ضرایب فنی و b بردار M×1 از منابع موجود است. مقادیر دوگان مرتبط با محدودیت منابع توسط بردار z به‌دست می‌آید. رابطه (۴) نشان‌دهنده محدودیت‌های واسنجی است که الگو را به سطح فعالیت‌های مشاهده‌شده در سال پایه محدود می‌کند، به‌طوری‌که x_0 نشان‌دهنده تخصیص زمین در سال پایه و ε نشان‌دهنده انحراف کوچک از تخصیص زمین سال پایه است. (۲۲، ۲۶). بردارهای دوگان برای محدودیت‌های مذکور به‌ترتیب توسط z (بردار M×1) و h (بردار I×1) بیان می‌شود. در نهایت، $X \geq 0$ در رابطه (۵) نشان‌دهنده محدودیت غیرمنفی‌بودن سطح فعالیت‌ها است.

مرحله دوم: این مرحله شامل استفاده از روش حداکثرسازی آنتروپی برای محاسبه واریانس‌های بازسازی‌شده می‌باشد. از آنجایی‌که مسئله معادل قطعیت شامل سود حقیقی $\hat{g}$ و ماتریس کوواریانس بازسازی‌شده S است که مشاهدات سال پایه را بدون لحاظ محدودیت‌های واسنجی بازتولید می‌کند و با توجه به پارامترهای برون‌زای $\bar{g}$ و V موجود در تابع هدف الگو، شرایط مرتبه اول در x0 به‌صورت رابطه (۶) تأمین می‌شود.

$$\bar{g}-\frac{VX_0}{w_0+\bar{g}^TX_0}+\frac{0.5(X_0{}^TVX_0)\bar{g}}{(W_0+\bar{g}^TX_0)^2}-h=\hat{g}-\frac{SX_0}{w_0+\hat{g}^TX_0}+\frac{0.5(X_0{}^TSX_0)\hat{g}}{(W_0+\hat{g}^TX_0)^2} \qquad (۶)$$

تخمین پارامترهای مجهول در رابطه (۶) با رهیافت حداکثر آنتروپی[1] انجام می‌شود. با فرض اینکه پارامترهای $\bar{g}$ و V شناخته شده‌اند (از مقادیر $\bar{p}_i^t$ و $\bar{y}_i^t$ برآورد می‌شود)، مسئله حداکثرسازی آنتروپی را می‌توان به‌صورت رابطه (۷) با محدودیت‌های روابط (۱۵-۸) بیان نمود (۲۶).

$$\underset{\pi p_{ik}^t,\pi y_{ik}^t,\pi q_{ik}\geq 0}{\text{Max}}\ H=-\sum_{i,k,t}\pi p_{ik}^t\ln(\pi p_{ik}^t)-\sum_{i,k,t}\pi y_{ik}^t\ln(\pi y_{ik}^t)-\sum_{i,k}\pi q_{ik}\ln(\pi q_{ik}) \qquad (۷)$$

$$\text{s.t.}\quad ep_i^t=\sum_k zp_k\,\pi p_{ik}^t,\ \sum_k\pi\, p_{ik}^t=1,\ \ \hat{p}_i^t=\bar{p}_i^t ep_i^t \qquad (۸)$$

$$ey_i^t=\sum_k zy_k\,\pi y_{ik}^t,\ \ \sum_k\pi\, y_{ik}^t=1,\ \ \hat{y}_i^t=\bar{y}_i^t ey_i^t \qquad (۹)$$

$$eq_i=\sum_k zq_k\,\pi q_{ik},\ \ \sum_k\pi\, q_{ik}=1,\ \ q_i=(\hat{r}_i-c_i)eq_i \qquad (۱۰)$$

$$\hat{r}_i^t=\hat{p}_i^t\hat{y}_i^t,\ \ \hat{r}_i=\frac{1}{T}\sum_t\hat{r}_i^t,\ \ \hat{g}_i^t=\hat{r}_i^t-c_i-q_i, \qquad (۱۱)$$

$$\hat{g}_i=\frac{1}{T}\sum_t\hat{g}_i^t \qquad (۱۲)$$

$$s_i^2=\frac{1}{T-1}\sum_t(\hat{g}_i^t-\hat{g}_i)^2 \qquad (۱۳)$$

$$s_{ij}=\frac{1}{T-1}\sum_t[(\hat{g}_i^t-\hat{g}_i)(\hat{g}_j^t-\hat{g}_j)] \qquad (۱۴)$$

$$\bar{g}-\frac{VX_0}{w_0+\bar{g}^TX_0}+\frac{0.5(X_0{}^TVX_0)\bar{g}}{(W_0+\bar{g}^TX_0)^2}-h=\hat{g}-\frac{SX_0}{w_0+\hat{g}^TX_0}+\frac{0.5(X_0{}^TSX_0)\hat{g}}{(W_0+\hat{g}^TX_0)^2} \qquad (۱۵)$$

$$\forall i,j\in I,\qquad \forall k\in K,\quad \forall t\in T$$

در رابطه (۷)، H بیانگر آنتروپی الگو است که باید حداکثر شود. بر این اساس با توجه به داده‌های ملی قیمت و عملکرد طی دوره T سال برای هر محصول، مقادیر حقیقی در هر سال برابر با آمار آن سال ضرب در درصد خطاست که مقدار خطا فاصله عددی بین دو ارزش را بیان می‌کند؛ بنابراین، اگر قیمت ملی محصول i در سال t با $\bar{p}_i^t$ تعریف شود، قیمت حقیقی برای مزرعه در همان سال برابر با $\hat{p}_i^t=\bar{p}_i^t ep_i^t$ می‌شود که ep_i^t درصد خطای مربوطه است. به‌همین‌ترتیب، برای عملکرد حقیقی محصول $\hat{y}_i^t=\bar{y}_i^t ey_i^t$ که $\bar{y}_i^t$ میانگین عملکرد ملی است و ey_i^t درصد خطا است. در نتیجه، درآمد حقیقی محصول i در سال t نیز به‌صورت $\hat{r}_i^t=\hat{p}_i^t\hat{y}_i^t$ و متوسط درآمد حقیقی در دوره T به‌صورت $\hat{r}_i=\frac{1}{T}\sum_t\hat{r}_i^t$ محاسبه می‌شود (۲۶).

علاوه بر $\hat{p}_i^t$ و $\hat{y}_i^t$، انتخاب پشتیبانی مناسب برای بردار q هم که کمتر یا برابر با سود حسابداری($\hat{r}$ – c) است، تعریف می‌شود. به‌گونه‌ای که سود ضمنی انتظاری $\hat{r}$ - c – q مثبت باقی می‌ماند. بنابراین، هزینه نهایی ضمنی اضافی برای فعالیت i به‌صورت $q_i=(\hat{r}_i-c_i)eq_i$ تعریف می‌شود که c_i عنصر i ام از بردار هزینه c است، eq_i میزان خطای مربوطه است ($0\leq eq_i<1$) (۲۶). در چارچوب حداکثر آنتروپی، تصحیح خطا به‌صورت ارزش انتظاری توزیع احتمال گسسته ناشناخته بر روی یک بردار (یا فاصله) از نقاط پشتیبان گسسته بیان می‌شود. πp_{ik}^t ، πy_{ik}^t و πq_{ik} به‌ترتیب عناصر k ام توزیع احتمال ناشناخته برای قیمت‌ها، عملکردها و هزینه‌های ضمنی هستند. بر این اساس، zp_{ik}^t، zy_{ik}^t و zq_{ik} عناصر مربوطه بردارهای پشتیبان را نشان می‌دهند که در محدوده ممکن پارامترها توسط پژوهشگر تعریف می‌شوند (K=۵) (۲۶). در مطالعه حاضر بر اساس داده‌های ده ساله ۱۳۹۷-۱۳۸۸، نقاط پشتیبان قیمت، عملکرد و هزینه ضمنی به‌ترتیب در بازه (۱/۴، ۰/۶)، (۱/۳، ۰/۷) و (۰/۹، ۰/۲) تعریف شدند که در آن قیمت‌ها بر اساس شاخص قیمت سال ۱۳۹۵ تورم زدایی شدند. در روابط (۸)، (۹) و (۱۰) نیز جمع احتمالات برابر با یک است. $\hat{g}_i^t$ سود ضمنی محصول i در سال t، $\hat{g}_i$ میانگین سود ضمنی، S_i^2 واریانس سود محصول i، S_{ij} کوواریانس سود محصول i و j است (۲۶).

مرحله سوم: تبیین الگوی PMP نهایی واسنجی‌شده می‌باشد.

تابع هدف غیرخطی با واریانس بازسازی‌شده‌ی S در رابطه (۱۶)، به استثناء محدودیت‌های واسنجی، ولی همراه با دیگر محدودیت‌های

1- Maximum Entropy (ME)

سیستمی اجرا می‌شود (۱۰).

$$Max\ EU = w - \frac{1}{2}\frac{x^T Sx}{w} \quad (۱۶)$$
$$\text{s.t} \qquad Ax \leq b$$

مرحله چهارم: اعمال سیاست الگوی نهایی و تجزیه و تحلیل نتایج

لازم به ذکر است که پس از واسنجی الگوی نهایی PMP واکنش کشاورزان به سیاست کاهش آب و کود شیمیایی در دسترس مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین، میزان نهاده‌های مصرفی (مانند آب، کود) در واحد سطح جهت بررسی پایداری کشاورزی و تولید محصول سالم به‌کار می‌رود (۲۴). شناخت شاخص های پایداری و استفاده از آنها به تصمیم‌گیران کمک می‌نماید تا در فرایند برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌تر عمل نمایند. در مطالعه حاضر دو شاخص پایداری محیط‌زیستی که مربوط به مصرف کود شیمیایی و همچنین میزان مصرف آب می‌باشند، به‌صورت رابطه (۱۷) در نظر گرفته شده‌اند (۲۴، ۶).

$$\text{شاخص پایداری نهاده آب (کود شیمیایی)} = \frac{\text{میزان مصرف آب(کود شیمیایی)}}{\text{سطح زیر کشت}} \quad (۱۷)$$

هرچه شاخص مذکور کوچک‌تر باشد، بیانگر پایداری بیشتر در تولید محصولات در بخش کشاورزی است. به‌عبارت‌دیگر، ارقام کوچکتر این شاخص نسبت به مقدار آن در وضعیت فعلی، نشان‌دهنده آلودگی کمتر محیط‌زیستی و در جهت رسیدن به پایداری سیستم کشاورزی است (۶).

در این مطالعه، بهره‌برداران زیربخش زراعت حوضه‌ی آبریز تجن جامعه‌ی آماری مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند. برای این منظور از پرسشنامه‌های هزینه تولید تکمیل‌شده توسط جهاد کشاورزی استان مازندران در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به‌عنوان سال پایه استفاده می‌شود. همچنین، داده‌های مربوط به محصولات زراعی در سال پایه از طریق مراجعه به سازمان جهاد کشاورزی (۴) و داده‌های مربوط به آب با مراجعه به شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران (۳۰) جمع‌آوری شد. محصولات زراعی منتخب نیز برحسب سطح کشت عمده منطقه در سال پایه شامل برنج، گندم آبی، کلزا آبی و ذرت آبی می‌باشند. همچنین برای تشکیل ماتریس واریانس-کواریانس، سری زمانی قیمت و عملکرد محصولات یادشده موردنیاز است که از آمارسازمان جهاد کشاورزی مازندران در دوره ۱۳۹۷-۱۳۸۸ استفاده شد. جهت برآورد الگوهای مذکور مطالعه و شبیه‌سازی سیاست‌ها از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است.

نتایج و بحث

داده‌ها و اطلاعات آماری مربوط به محصولات منتخب زراعی حوضه‌ی آبریز تجن در سال پایه (۱۳۹۷) در جدول ۱ نشان داد که کشت برنج در بین سایر محصولات زراعی بیشترین سهم (۸۶ درصد) را به‌خود اختصاص داد. همچنین، برنج و گندم در بین سایر محصولات بیشترین سود در هر هکتار را داشت. بر اساس لزوم حفاظت بیشتر منابع حیاتی آب در بلندمدت از لحاظ کمی و همچنین حفاظت منابع خاک و تولید محصولات سالم، در مطالعه حاضر سعی بر این است تا رفتار زارعین حوضه‌ی تجن نسبت به اتخاذ سناریوهای کاهشی نهاده آب و کود شیمیایی بررسی شود. بنابراین، سناریوهای مقداری ۵، ۱۰ و ۱۵ درصدی آب و کود شیمیایی اعمال و مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- داده‌های آماری مربوط به محصولات زراعی آبی در حوضه‌ی آبریز تجن در سال ۱۳۹۷ (در هکتار)
Table 1- Statistical data related to irrigated crops in Tajan Basin in 2018 (per hectare)

محصول Crop	سطح کشت Cultivation area (ha)	عملکرد Yield (kg)	آب Water (m^3)	کود شیمیایی Fertilizer (kg)	سود خالص Net profit (Thousand Rials)
برنج Rice	27741	4309	13427	290	57986
گندم Wheat	1757	3579	1813	250	16227
ذرت Corn	2075	3769	8227	279	15862
کلزا Rapeseed	575	2374	5083	267	4976

منبع: (۴ و ۳۰)
Source:(30، 4)

واسنجی الگوی PMP با رهیافت حداکثر بی‌نظمی نشان داد که در مقدار تابع هدف، مقادیر کاربرد نهاده‌ها و همچنین سطح زیرکشت تفاوتی بین مقادیر مشاهده شده (وضعیت موجود) و مقادیر حاصل از واسنجی الگو وجود ندارد. بنابراین، واسنجی الگو به‌خوبی انجام شده است و الگو توانسته است بر داده‌های سال مبنا تطبیق یابد. درصد تغییرات الگوی کشت و مطلوبیت انتظاری در سناریوهای کاهش آب در دسترس، نسبت به الگوی کشت فعلی (سال پایه) محصولات زراعی حوضه‌ی تجن در جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۲- مقایسه الگوی فعلی کشت محصولات با نتایج حاصل از حل الگو PMP بر اساس سناریوهای مختلف آب در دسترس (واحد: هکتار)

Table 2- Comparison of current cropping pattern with results of PMP model based on different scenarios of available water (Unit: Hectare)

سطح کشت Cultivation area	الگوی پایه Basic pattern	واحد تغییرات Unit of changes	سناریوهای کاهش آب در دسترس Scenarios of reduction available water		
			5%	10%	15%
برنج Rice	27741	مقدار Quantity	26450.706	25165.706	23885.662
		درصد Percent	-4.651	-9.285	-13.898
گندم Wheat	1757	مقدار Quantity	1665.892	1574.619	1483.153
		درصد Percent	-5.185	-10.380	-15.586
ذرت Corn	2075	مقدار Quantity	1859.584	1638.485	1410.813
		درصد Percent	-10.381	-21.037	-32.009
کلزا Rapeseed	575	مقدار Quantity	472.561	366.371	255.844
		درصد Percent	-17.816	-36.283	-55.505
سطح کشت کل Total cultivation area	32148	مقدار Quantity	30448.743	28744.811	27035.472
		درصد Percent	-5.285	-10.586	-15.903
مطلوبیت انتظاری (میلیون ریال) Expected utility (Million Rials)	60603	مقدار Quantity	60599	60587	60566
		درصد Percent	-0.006	-0.026	-0.061
نسبت مطلوبیت انتظاری به سطح کشت Ratio expected utility to crop level	1.88	مقدار Quantity	1.99	2.10	2.24

Source: Research findings مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول ۲، سطح زیرکشت هریک از محصولات در سناریوهای کاهش آب در الگوی PMP، نسبت به سال پایه کاهش یافته است. به‌گونه‌ای که در این سناریوها، تغییرات کاهشی سطح کشت هریک از محصولات به ازای کاهش بیشتر آب، شدیدتر از گزینه سناریوی قبلی خود است. با این وجود، در تمام سناریوهای آب، برنج کمترین و کلزا بیشترین کاهش در سطح کشت به‌خود اختصاص

داد. همچنین، محصولات برنج و گندم به دلیل ارزش اقتصادی یا صرفه اقتصادی بالاتر حاصل از هر هکتار آن‌ها نسبت به دیگر محصولات، واکنش کمتری در شرایط کم‌آبی نشان داده و با افت کمتری از لحاظ سطح زیرکشت مواجه شدند. در مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب تحت سناریوهای کاهشی آب به‌ترتیب به میزان ۵/۲۸، ۱۰/۵۸ و ۱۵/۹۰ درصد نسبت به وضعیت موجود کاهش یافته که به نوبه خود علاوه بر کاهش مصرف آب، موجب کاهش فشار بر زمین زراعی می‌شود. همچنین، با توجه به نسبت مطلوبیت انتظاری کشاورزان بر سطح زیرکشت کل مشاهده شد کاهش مطلوبیت انتظاری در هر سناریو با توجه به کاهش تخصیص زمین در سناریوها دور از انتظار نیست. به‌عنوان نمونه در حالت کاهش ۱۵ درصدی آب، کاهش ناچیز ۰/۰۶۱ درصدی مطلوبیت انتظاری ناشی از کاهش ۱۵/۹۰ درصدی سطح کشت منطقه است. بنابراین، با اعمال سیاست‌های موردبحث الگوی کشتی را می‌توان تدوین کرد که ضمن ممکن ساختن کسب سود لازم، استفاده از حداقل نهاده آب را میسر سازد. در جدول ۳ درصد تغییرات مطلوبیت انتظاری و الگوی کشت زراعی در سناریوهای کاهش کود شیمیایی، نسبت به الگوی کشت سال پایه ارائه شد.

جدول ۳- مقایسه الگوی فعلی کشت محصولات با نتایج حاصل از حل الگو PMP بر اساس سناریوهای مختلف کود شیمیایی در دسترس (واحد: هکتار)

Table 3- Comparison of current cropping pattern with results of PMP model based on different scenarios of available fertilizer (Unit: Hectare)

سطح زیر کشت Cultivation area	الگوی پایه Basic pattern	واحد تغییرات Unit of changes	سناریوهای کاهش کود در دسترس Scenarios of reduction available fertilizer		
			5%	10%	15%
برنج Rice	27741	مقدار Quantity	26938.940	25156.596	25299.685
		درصد Percent	-2.891	-5.711	-8.800
گندم Wheat	1757	مقدار Quantity	1614.872	1470.914	1320.296
		درصد Percent	-8.089	-16.283	-24.855
ذرت Corn	2075	مقدار Quantity	1743.176	1403.665	1079.632
		درصد Percent	-15.992	-32.354	-47.97
کلزا Rapeseed	575	مقدار Quantity	372.342	163.822	0
		درصد Percent	-35.245	-71.509	-100
سطح کشت کل Total cultivation area	32148	مقدار Quantity	30669.329	29194.997	27699.619
		درصد Percent	-4.599	-9.185	-13.837
مطلوبیت انتظاری (میلیون ریال) Expected utility (Million Rials)	60603	مقدار Quantity	60600	60592	60578
		درصد Percent	-0.004	-0.018	-0.041
نسبت مطلوبیت انتظاری به سطح کشت Ratio expected utility to crop level	1.88	مقدار Quantity	1.97	2.07	2.18

Source: Research findings — مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول ۳ کمترین کاهش سطح زیرکشت در سیاست کاهش ۵ درصدی کود مربوط به برنج با کاهشی برابر ۲۶۹۳۸/۹۴۰ هکتار (۲/۸۹ درصد) نسبت به سال پایه می‌باشد. تغییرات کاهشی سطح کشت کل منطقه به‌ترتیب ۴/۵۹۹، ۹/۱۸۵ و ۱۳/۸۳۷ درصد در سناریوهای کاهشی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصدی کود است که کاهش مقادیر در هر سناریو شدیدتر از وضعیت سناریوی قبلی خود است. چنان‌که در سناریوی سوم (کاهش ۱۵ درصدی کود) کلزا از الگوی کشت خارج و برنج و گندم به‌دلیل صرفه اقتصادی بالاتر جایگزین آن شدند. در مجموع سطح زیرکشت محصولات منتخب تحت سناریوهای کاهشی کود نسبت به سناریوهای آب، کاهش کمتری داشته است که به‌نوبه خود امکان حفاظت خاک و بهبود کیفیت آب با مصرف کمتر نهاده کود شیمیایی و استفاده از نهاده‌های جایگزینی مانند کودهای ارگانیک و آلی را به دنبال خواهد داشت. این در حالی است که با کاهش نهاده آب در منطقه، نهاده جایگزین جهت غلبه بر مشکل کم‌آبی وجود ندارد و بر اساس روش‌های کم‌بازده و سنتی آبیاری مورد استفاده در حوضه، تنها می‌توان از روش‌های مناسب آبیاری جهت استفاده بهینه از منابع آب موجود بهره گرفت. با توجه به نتایج ملاحظه می‌شود که اعمال سه سناریوی کاهش کود، علاوه بر کاهش سطح کشت کل، موجب کاهش مطلوبیت انتظاری کشاورزان به‌ترتیب به میزان ۰/۰۰۴، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۴۱ درصد در سطوح مذکور نسبت به وضعیت موجود شد که با توجه به نسبت آن به کاهش سطوح کشت محصولات قابل تأمل است. بر اساس سناریوهای کاهش منابع آب و کود در دسترس کشاورزان منطقه، محصول کلزا در مقایسه با دیگر محصولات الگو از بیشترین میزان حساسیت (بیشترین میزان تغییرات کاهشی) برخوردار بوده که این امر عدم توسعه سطح کشت آن را برای کشاورزان منطقه بازگو می‌کند. در مقابل سطح زیرکشت برنج در مقایسه با دیگر محصولات الگو از کمترین میزان تغییرات کاهشی برخوردار است. بنابراین، با اعمال سیاست‌های کاهشی نهاده‌ها، الگوی کشتی را می‌توان تدوین کرد که ضمن ممکن ساختن مطلوبیت انتظاری لازم، استفاده از حداقل نهاده کود و آب را میسر سازد. در مطالعه حاضر اثرات اعمال سناریوی کاهش آب و کود علاوه بر الگوی کشت و مطلوبیت انتظاری بر نسبت مصرف نهاده‌ها در واحد سطح در جدول ۴ بیان شد.

جدول ٤- مقایسه شاخص پایداری در الگوی کشت فعلی و الگو PMP مبتنی بر سناریوهای مختلف کود شیمیایی و آب در دسترس

Table 4- Comparison of Stability index in current cropping pattern and PMP model based on different scenarios of available water and fertilizer

شاخص پایداری Stability index	الگوی پایه Basic pattern	واحد تغییرات Unit of changes	سناریوهای کاهش آب در دسترس Scenarios of reduction available water			سناریوهای کاهش کود در دسترس Scenarios of reduction available fertilizer		
			5%	10%	15%	5%	10%	15%
مقدار آب مصرفی Used water	12307.37	مقدار Quantity	12344.35	12387.97	12439.583	12305.127	12289.434	12268.038
		درصد Percent	0.300	0.654	1.07	-0.018	-0.145	-0.319
مقدار کود مصرفی Used fertilizer	295.98	مقدار Quantity	295.4	294.73	293.932	294.74	293.33	291.989
		درصد Percent	-0.195	-0.422	-0.691	-0.418	-0.895	-1.348

مأخذ: یافته‌های تحقیق Source: Research findings

همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه شد مقادیر شاخص‌های پایداری مربوط به میزان مصرف کود در تمام سناریوهای کاهش آب و کود کمتر از الگوی کشت فعلی منطقه است و در هر سناریو بهتر از سناریوی قبلی خود است. به‌عبارتی، مقادیر کاهش یافته شاخص بیانگر بهبود وضعیت با توجه به سیاست‌های مذکور است. در سیاست کاهش ۱۵ درصدی کود، شاخص مصرف کود (معادل ۲۹۱/۹۸۹) که از نسبت مقدار کود مصرفی الگوی PMP و سطح زیرکشت کل در این سیاست به‌دست می‌آید، بهترین حالت با بهبود ۱/۳۴۸ درصدی مصرف کود را نشان می‌دهد. همچنین، شاخص‌های پایداری میزان مصرف آب در الگوی PMP مبتنی بر سیاست کاهش کود در دسترس، کمتر از الگوی کشت فعلی منطقه است و بهبودی به میزان ۰/۰۱۸، ۰/۱۴۵ و ۰/۳۱۹ درصد به‌ترتیب در سه سطح ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد داشت. این در حالی است که در مقادیر شاخص پایداری مصرف آب در سیاست‌های کاهشی آب، بهبودی حاصل نشد. این امر بیانگر آن است که در سناریوهای کاهشی آب، سطح زیرکشت بیشتر تحت تأثیر کاهش آب قرار گرفته و کاهش بیشتری نسبت به سناریوی کود

داشت. به‌طورکلی، بر اساس نتایج جداول ۳ و ۴، کاهش مطلوبیت انتظاری از نظر اقتصادی مطلوب نیست؛ اما کاهش مصرف کود و آب از منظر محیط‌زیستی مطلوب می‌باشد. چنانچه در سناریوی کاهش ۱۵ درصدی کود، کاهش ۰/۰۴۱ درصدی منافع اقتصادی با بهبود ۱/۳۴۸ درصدی شاخص مصرف کود و ۰/۳۱۹ درصدی شاخص مصرف آب همراه است. لذا، تغییرات کاهشی شاخص‌ها مبین مؤثربودن سناریوهای مذکور الگوی PMP است و سیاست‌های به‌کار رفته تا اندازه‌ای می‌تواند نظام تولید را به‌سمت پایداری هدایت کند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج مطالعه بیانگر آسیب‌پذیربودن کشاورزی حوضه، به‌دلیل تغییرات در آب قابل دسترس است. کاهش ۱۵ درصدی آب موجب کاهش چشمگیر ۱۵/۹۰۳ درصدی (۵۱۱۲/۵۲ هکتار) سطح زیرکشت در منطقه شد. در تمام سناریوهای کاهش آب و کود در منطقه، تخصیص مجدد زمین جهت کاهش کمتر مطلوبیت انتظاری کشاورزان صورت می‌گیرد. در این شرایط، محصول برنج و گندم به دلیل صرفه اقتصادی بالاتر حاصل از هر هکتار آن‌ها نسبت به دیگر محصولات، در شرایط کم‌آبی و کمبود نهاده کود با افت کمتر سطح زیرکشت همراه است.

شرایط مختلف آب و هوایی و روش‌های مختلف کشاورزی بر عملکرد و کیفیت محصول و بر این اساس بر قیمت و سود حاصل از تولیدات زراعی تأثیرگذارند. چنانچه تأثیرات در جهت کاهش مطلوبیت انتظاری باشد از بعد اقتصادی نامطلوب است اما توجه به بهبود شاخص‌های پایداری در گرایش به‌سمت کشاورزی پایدار و ارگانیک می‌تواند تا اندازه‌ای بر کاهش مطلوبیت انتظاری منطقه برتری یابد. لذا ،رهیافت حاصل می‌تواند جهت کنترل عوامل آسیب‌رسان محیطزیست در راستای کشاورزی پایدار مورد توجه قرار گیرد. زارعین منطقه موردمطالعه در تدوین الگوی کشت فعلی به ویژگی‌های محیطزیستی و پایداری منطقه توجه چندانی ندارند، درحالی‌که با اعمال سیاست‌های مختلف کاهش مقداری و قیمتی نهاده‌های شیمیایی و معرفی انواع شاخص‌های مختلف پایداری، می‌توان الگوی کشتی را تدوین کرد که ضمن ممکن‌ساختن کسب سود لازم، استفاده بهینه از نهاده‌های کود و آب را میسر سازد. همچنین، در جهت عدم کاهش سطح زیرکشت محصولات آبی، می‌توان همزمان راندمان آبیاری را با استفاده از آبیاری تحت فشار در جهت مدیریت منابع آب افزایش داد تا سطح کشت محصولات آبی کمتر تحت تأثیر کمبود نهاده آب قرار گیرد. از این‌رو، با توجه به تصور افزایش عملکرد ناشی از مصرف بیشتر آب و کود و عرضه آن در قیمت‌های پایین، یکی از راه‌های مدیریت مصرف نهاده‌ها افزایش قیمت آن‌ها در جهت کاهش مصرف و کاهش اثرات منفی مخرب محیطزیست است. از طرف دیگر، کاهش سطح کشت به معنی کاهش توان اشتغال‌زایی در بخش کشاورزی منطقه است. بنابراین، سیاست‌های مقداری آب و کود علاوه بر پیامدهای اقتصادی و محیطزیستی، به علت افزایش نرخ بیکاری پیامدهای اجتماعی را در مناطق روستایی خواهد داشت؛ که راهکار مقابله با این مسئله از طریق توسعه کارآمد اشتغال‌زایی در صنایع جایگزین به‌ویژه توسعه صنایع پشتیبان بخش کشاورزی خواهد بود.

به‌طور مسلّم نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق با داده‌های مورد استفاده، محصولات منتخب و روش‌های مختلف واسنجی PMP ارتباط تنگاتنگی دارد. بدین معنی که با تغییر داده‌ها یا اضافه و کم کردن محصولات، اعمال همزمان چند سیاست جهت کاهش مصرف نهاده آب نتایج تغییر خواهد کرد. توجه به این نکته که در مطالعه حاضر تحلیل سیاست کاهش منابع آب در دسترس در سطح منطقه‌ای را داریم، لذا پیشنهاد می‌شود که این کار در سطح مزارعی که از منابع و روش‌های آبیاری به‌صورت تلفیقی استفاده می‌کنند مورد بررسی قرار گیرد و اثر اقتصادی تخریب محیطزیست در اثر فعالیت‌های کشاورزی متداول برآورد گردد.

به‌نظر می‌رسد تغییر رفتار زارعین نسبت به الگوی فعلی مصرف نهاده‌ها نیازمند ایجاد انگیزه و دلایل قوی است. بر همین اساس، انجام آزمایش‌های کیفی آب و تجزیه خاک در هر منطقه و ارائه روابط مناسب مصرف بهینه کود شیمیایی و خدمات ترویجی و آموزشی لازم جهت افزایش سطح آگاهی عمومی می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مناسب جهت مصرف بهینه نهاده‌ها و در پی آن افزایش سطح زیرکشت و سود کشاورز باشد. همچنین، در صورت اعمال سیاست کاهش مصرف کودهای شیمیایی، می‌توان مسئله تأمین عناصر غذایی برای رشد و نمو از منابع بیولوژیک را جهت جلوگیری از کاهش عملکرد محصولات زراعی مدنظر قرار داد.

منابع

1. Abdi Rokni Kh., Hosseini Yekani S.A., Abedi S., and Kashiri Kolaei F. 2019. Effect of optimization of chemical fertilizers consumption on optimal cropping pattern in the framework of positive mathematical programming (case study of Sari Goharbaran) Journal of Agricultural Economics Research 12(2): 263-276. (In Persian with English abstract)
2. Agh M., Joolaie R., Keramatzadeh A., and SHirani Bidabadi F. 2015. Determination of cropping pattern with emphasis on reduction in chemical fertilizers and water consumption policies in Mazandaran province: case study of Behshahr. Journal of Soil Management and Sustainable Production 5(3): 247-259. (In Persian with English

abstract)
3. Aghapour Sabbaghi M., Nazari M.R., Araghinejad Sh., and Soufizadeh S. 2020. Economic impacts of climate change on water resources and agriculture in Zayandehroud river basin in Iran. Agricultural Water Management.Volume 241:1-13.
4. Agricultural Jihad Organization of Mazandaran Province. 2018. Office of Statistics and Information Technology.
5. Arfini F., Donati M., and Paris Q. 2003. A national PMP Model for Policy Evaluation in Agriculture using Micro Data and Administrative Information, paper presented at the International Conference Agricultural policy reform and the WTO: where are weheading? Capri, Italy.
6. Asaadi M.A., Khalilian S., and Moosavi S.H .2019. Effects of deficit irrigation simultaneously with reduced usage of fertilizer and chemical pesticides on changing cropping pattern in Qazvin irrigation network .Journal of Water Research in Agricultural Economics 33(1): 121-137. (In Persian with English abstract)
7. Baniasadi M., Zare Mehrjerdi M.R., Mehrabi Boshrabadi H., Mirza'ee Khalilabad H.R., Reza'ee Estakhruoiyeh A., and Hasanvand M. 2017. Study of cropping pattern changes and groundwater resources extraction by implementing reduced water consumption policies in orzuiyeh plain of Kerman province. Journal of Agricultural Economics 11(3): 11-129. (In Persian with English abstract)
8. Brouwer R., and Hofkes M. 2008. Integrated hydro-economic modelling: approaches, key issues and future research directions. Journal of Ecological Economics 66(1): 16–22.
9. Faryadi S., Shahedi K., and Nabatpoor M. 2013.Investigation of water quality parameters in Tajan River using multivariate statistical techniques. Journal of Watershed Management Research 3(6): 75-92. (In Persian with English abstract)
10. Fernández F.J., Ponce R.D., Blanco Rivera M.D., and Vásquez F. 2016. Water variability and the economic impacts on small-scale farmers. A farm risk-based integrated modelling approach. Water Resources Management 30(4): 1357–1373.
11. Field C.B., Barros V.R., Mach K., and Mastrandrea M. 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability contribution of working group ii to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
12. Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., and Toulmin C. 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. Journal of Science 327: 812-818.
13. Gohar A.A., and Cashman A. 2016. A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. Agricultural Systems 147: 51–64.
14. Graveline N. 2016. Economic calibrated models for water allocation in agricultural production: A review. Environmental Modelling and Software 81: 12-25.
15. Gundogmus E. 2006. A comparative analysis of organic and conventional direct apricot production on small households in Turkey. Asian Journal of Plant Sciences 5(1): 98-104.
16. Hasanvand V., Hasanvand M., Joulaie R., and Shirani Bidabadi F. 2015. Simulation of Farmers Behavior towards Applying Water Reduction Policies on Cropping Patterns Using Positive Mathematical Programming (PMP). Village and Development 17(4): 71-92. (In Persian)
17. Hashemi S.R. 2018. Drought in Mazandaran. Iran Islamic Republic News Agency. Available at http://www.irna.ir/fa/News/82853748
18. Henry de Frahan B., Buysse J., Polomé P., Fernagut B., Harmignie O., Lauwers L., Van Huylenbroeck G., and Van Meensel J. 2005. Positive Mathematical Programming for Agricultural and Environmental Policy Analysis: Review and Practice. In: A. Weintraub, T. Bjorndal, R. Epstein and C. Romero (Eds.), Management of Natural Resources: A Handbook of Operations Research Models, Algorithms and Implementations.
19. Howitt R.E. 1995. Positive Mathematical Programming. American Journal of Agricultural Economics 77(2): 329-342.
20. International Food Policy Research Institute. 2013. Green revolution: curse or blessing? www.ifpri.org/sites/default/files/pubs/pubs/ib/ib11.pdf. Accessed 02.12.13.
21. Jamalimoghaddam E., Yazdani S., Salami H., and Peykani G. 2019. The impact of water supply on farming systems: A sustainability assessment. Sustainable Production and Consumption 17: 269-281.
22. Kanellopoulos A., Berentsen P., Heckelei T., Van Ittersum M., and Lansink A.O. 2010. Assessing the forecasting performance of a generic bio-economic farm model calibrated with two different PMP variants. Journal of Agricultural Economics 61: 274–294.
23. Klátyik Sz., Darvas B., Oláh M., Mörtl M., Takács E., and Székács A. 2017. Pesticide residues in spice paprika and their effects on environmental and food safety. Journal of Food and Nutrition Research 56(3): 201–218.
24. Koochaki A., Hosseini M., and khazaei H. 1997. Sustainable Agricultural systems. ACECR Mashhad Branch Publication Center.
25. Nazari A.H., Manafi Azar R., and Abdollahi A. 2014. Aluating the influences of pressurized irrigation system on the charging of farming structure, cropping pattern and yield. Journal of the Studies of Human Settlements Planning (Geographical Landscape) 8(25): 147 -161. (In Persian with English abstract)

26. Petsakos A., and Rozakis S. 2015. Calibration of agricultural risk programming models. European Journal of Operational Research 242: 536–545.
27. Ponce R., Blanco M., and Giupponi C. 2014. The economic impacts of climate change on the Chilean agricultural sector: a non-linear agricultural supply model. Chilean Journal of Agricultural Research 74(4): 404–412.
28. Pourzand F., and Bakhshoudeh M. 2012. Evaluating agricultural sustainability of Fars province with compromise programming approach. Journal of Agricultural Economics Research 4(1): 1-26. (In Persian with English abstract)
29. Razavi S.H., Pourtaheri M., and Roknodin Eftekhari A.R. 2017. A Proposed Model for Organic Rice Farming in Rural Areas of Guilan and Mazandaran Provinces. Journal of Rural Research 8(3): 372-387. (In Persian with English abstract)
30. Regional water Company of Mazandaran. 2018. Report of subscriber’s number and performance. 1-6. (In Persian)
31. Sadeghi S., and Jafari Talokolaei M. 2014. Estimation of relationship between TDS and EC of Tajan River in high and low water seasons. The 1rd National Conference on Drainage in Sustainable Agriculture. Tarbiat Modarres University.8 March, Tehran. (In Persian)
32. Sharifinia M., Imanpour J., and Bozorgi A. 2012. Ecological assessment of the Tajan River using feeding groups of benthic macroinvertebrates and biotic indices. Journal of Applied Ecology 1(1): 80-95. (In Persian with English abstract)
33. Sheikhzeinoddin A., Esmaeili A., and Zibaei M. 2016. Management of water and fertilizer consumption using bio-economic approach: a case study of irrigation and drainage dorudzan 24(93): 27-47. (In Persian with English abstract)
34. Shieh J.Y., Chen J.H., Chang S.H., and Lai C.C. 2014. Environmental consciousness, economic growth, and macroeconomic instability. International Review of Economics and Finance 34: 151-160.
35. Stocker TF., Qin D., and Plattner G-K. 2013 Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge.
36. Zamani O., Grundmann P., Libra J.A., and Nikouei A. 2019. Limiting and timing water supply for agricultural production – The case of the Zayandeh-Rud River Basin, Iran. Agricultural Water Management 222: 322–335.

Journal of Agricultural Economics and Development
Vol. 35, No. 1, Spring 2021, p. 1-13

نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی
جلد ۳۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۱۳-۱

Simulating Farmers' Response to Policies Based on Sustainable Agriculture (Case Study: Cropping Sub-sector of Tajan Basin)

N. Heidari Zahiri[1]**- H. Amirnejad**[2]***- S. Shirzadi Laskookalayeh**[3]

Received: 18-03-2020
Accepted: 27-02-2021

Introduction: Water scarcity, improper management of water resources, excessive application of chemical inputs, and lack of proper cultivation patterns are present in agriculture. Lack of attention to these cases will inflict irreparable damage on the agricultural sector. Accordingly, attention to sustainable agriculture, conservation of water resources and prevention of improper use of chemical fertilizers are essential to reduce environmental pollution. In many cases, there is agreement on the river basin scale as a suitable spatial scale for analysis of water resources management. Tajan Basin with area of about 4187 km^2 is one of the important parts of Caspian Sea Basin .The Current status of water resources in Tajan basin due to decrease in river runoff, has doubled the focus on the basin's water resources management.

Materials and Methods: In this study, with the help of positive mathematical planning and maximum entropy approach in GAMS, policies to reduce the use of chemical fertilizers and water in selecting the appropriate cultivation pattern for 2017 in the Tajan basin were reviewed. Within the model, the farmer maximizes the expected utility of their stochastic income, subject to resource and non-negativity constraints. To include both market and yields uncertainty, we calculated profit covariance matrices by using national averages for prices and yields for the 2018–2009 period. The resource constraints include land, water and fertilizer. Selected irrigated crops in the region include rice, wheat, rapeseed and corn. In the present study for simulating farmers' response, reduction scenarios including 5%, 10% and 15% of available water and fertilizer are considered. There are also two environmental sustainability index that are related to amount of the used fertilizer and water. The smaller the index is, the greater sustainability is provided in crop production.

Results and Discussion: Calibration of PMP pattern with maximum entropy approach showed that there is no difference between the value of target function, inputs and cultivation level in the current situation and calibration pattern. In all water reduction scenarios, the total cultivation area decreased. The results indicate that the agriculture in the basin is vulnerable due to changes in available water. The 15% decrease in water resources causes a significant decrease of 15/903% of the cultivation area. Cultivation area under fertilizer reduction scenarios has been lower in comparison with water scenarios, and so reduces the used fertilizer and increases soil conservation and water stock. In reduction scenarios of water and fertilizer, land reallocation is reduced due to less reduction in expected utility of farmers. In water scarcity conditions and lack of fertilizer, rice and wheat crops have higher economic benefits per hectare than other crops. The sustainability index for used fertilizer in all reduction scenarios of water and fertilizer is lower than the current pattern. Also the index of the used water in the PMP model is lower than the baseline in the region that decrease was 0.018%, 0.144% and 0.319% at three levels of 5%, 10% and 15%, respectively. In the scenario of 15% reduction of fertilizer, land allocation and economic benefits decreased by 13.83% and 0.034%, respectively. However used fertilizer and water index improved to 1.348% and 0.319%, respectively. Therefore, improving the water and fertilizer application index has a higher priority than reducing the expected utility in the region.

Conclusion: In the current cropping pattern, farmers do not pay attention to the environmental characteristics and sustainability of the region. While with the policies of reducing the quantity and price of chemical inputs and introducing different types of sustainability indicators, it is possible to develop a cultivation model. In addition to earning the necessary profit, it enables the optimal use of fertilizer and water inputs. Changing the behavior of farmers compared to the current pattern of input consumption requires strong motivation and reasons. Therefore,

1, 2 and 3- Ph.D. Candidate in Agricultural Economics, Associate Professor and Assistant Professor of Agricultural Economics, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, respectively.
(*- Corresponding Author Email: h_amirnejad@sanru.ac.ir)
DOI: 10.22067/jead.2021.17774.0

water quality tests and soil decomposition in the region, as well as providing appropriate formulas for optimal use of chemical fertilizers is needed. Extension services to increase people's awareness is a good solution for optimal use of inputs and increase the level of cultivation and farmers' profits.

Keywords: Expected utility, Positive mathematical programming, Sustainability index, Tajan basin